

17. Кривый П.Д. К повышению точности изготовления приводных цепей // Вестник машиностроения. – 1980. – №11. – С. 30-33.
18. Кривый П.Д. Работоспособность приводных роликовых и втулочных цепей с ориентированными свертыными втулками: Дис... канд. техн. наук: 05.05.04. – Тернополь, 1990. – 252 с.
19. Пунтус А.В. К определению рациональной разношаговости открытошарнирных цепей // Цепные передачи и приводы. Межвузовский сборник научных трудов. – Вып. 98. – Краснодар: Издательство Краснодарского политехнического института, 1979. – С. 109-115.
20. Основы конструирования и расчета деталей из пластмасс и технологической оснастки их изготовления: Учебное пособие для студентов вузов. Мирзоев Р.Г., Кугушев И.Д., Брагинский В.А. и др. – Л.: Машиностроение, 1972. – 416 с.

<<WWW <http://taltek.i.am>, <http://www.irnet.ru/taltek>; E-mail: taltek@i.am, oluf@tu.edu.te.ua>>

Стаття представлена професором Рогатинським Р.М.

УДК 621.9

І.Луців

(Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя, м.Тернопіль)

ФОРМУВАННЯ ШОРСТКОСТІ І ХВИЛЯСТОСТІ ПОВЕРХНІ ПРИ БАГАТОЛЕЗОВІЙ АДАПТИВНІЙ ОБРОБЦІ

Анотація. В роботі розглядаються геометричні характеристики якості поверхні, обробленої за допомогою багатолезового різання із застосуванням оснащення з кінематичними міжінструментальними зв'язками. Виведені залежності для розрахунку шорсткості і хвилястості поверхні при багатолезовій адаптивній обробці.

Умовні позначення:

R_z і W_z - шорсткість і хвилястість поверхні;

s і t - подача і глибина різання;

r - радіус при вершині різця;

n - число різців;

ω - циклічна частота;

c - жорсткість системи;

h - коефіцієнт демпфування;

M - приведена маса;

k_y - коефіцієнт різання;

T_p - постійна часу стружкоутворення.

Якість поверхні деталей машин визначається сукупністю характеристик шорсткості і хвилястості, фізико-механічних та хімічних властивостей і мікроструктури поверхневого шару. Розглянемо геометричні характеристики шорсткості і хвилястості поверхонь деталей, оброблюваних прогресивними багатолезовими пристроями із кінематичними міжінструментальними зв'язками [1], [2].

Виникнення шорсткості поверхні (внаслідок геометричних причин) слід трактувати як копіювання на оброблюваній поверхні траєкторій руху і форми різальних лез. Шорсткість оброблюваної поверхні R_z визначається висотою залишкового перерізу стружки (так званих «гребінців»). У більшості випадків при точінні для її визначення користуються формулою В.Л.Чебишева [3], яка враховує радіус r заокруглення вершини різця: $R_z = s^2/8r$, де s – подача супорта.

При багатолезовій обробці за методом поділу подачі траєкторії результируючих рухів кожного із різальних лез являють собою гвинтові лінії, які є мимобіжними, тобто не перетинаються між собою. Очевидно, що при цьому за тієї ж загальної подачі супорта, що і при однорізцевому точінні, значно знижується висота мікронерівностей $R_{zn}=s^2/(8n^2r)$, тобто при дволезовій обробці шорсткість зменшується в 4 рази, при трилезовій – у 9 і т. д. Кількість «гребінців» зростає в n разів, що теж позитивно впливає на якість поверхні.

Проте розглянуті нерівності – теоретичні і мають місце в ідеальному випадку. В процесі різання різальні елементи здійснюють відносні рухи внаслідок функціонування КМІЗ при компенсації змін зусиль різання, і через коливання подач різців шорсткість поверхні стає неоднорідною. Вплив зміни подачі на величину шорсткості можна виразити формулою $\Delta R_{zn}=s/(4rn)$, де $\Delta s_n=|s_n-s_{n-1}|$ – максимальна різниця у величинах миттєвих подач двох сусідніх різців відповідно до їх слідів на поверхні деталі. Розглянемо, наприклад, дворізцеве точіння ексцентрично закріпленої заготовки. Не враховуючи впливу кута нахилу «гвинтової лінії» – сліду різців та зауважуючи зміщення між собою слідів різців на півоберта заготовки, робимо висновок, що при зміні подачі різця 1 за синусоїдальною функцією різниця $\Delta s_n=\Delta s_H=0$.

Ці міркування розповсюджуються на обробку деталей типу правильного k -гранника n -лезовим інструментом із КМІЗ, бо при цьому збуджуюча функція є гармонійною (майже гармонійною) з періодом 2π . Тобто і в даному випадку внаслідок рівності різниці величин миттєвих подач ($\Delta s_n=0$) не змінюється і значення геометричної шорсткості ($\Delta R_{zn}=0$).

У випадку, коли збуджуюча функція подачі не є гармонійною, можливе додаткове погіршення шорсткості. Представмо таку функцію (з періодом 2π) для різального леза 1 у вигляді ряду Фур'є:

$$s_1 = s_y + \frac{1}{2}s_{ao} + \sum_{k_\phi=1}^{\infty} (s_{ak} \cos k_\phi \omega \tau + s_{bk} \sin k_\phi \omega \tau)$$

де s_y – усталене значення подачі, k_ϕ – номер гармоніки; $s_{ao}/2$ – середнє значення зміни подачі; s_{ak} і s_{bk} – коефіцієнти Фур'є. Для n -лезової обробки функції зміни подач різальних елементів можна записати так ($i=2,3,\dots,n$):

$$s_i = \frac{n}{n-1}s_y - \frac{1}{n-1} \left\{ s_y + \frac{1}{2}s_{ao} + \sum_{k_\phi=1}^{\infty} \left[s_{ak} \cos \left(k_\phi \omega \tau + (i-1) \frac{2\pi}{n} \right) + s_{bk} \sin \left(k_\phi \omega \tau + (i-1) \frac{2\pi}{n} \right) \right] \right\}$$

Розраховуючи величину Δs_n , наприклад, для дволезової обробки, матимемо $\Delta s_H=s_{ao}$. Розглядаючи більш загальний випадок, коли зміна подачі різця 1 являє собою суму періодичних функцій з періодами 2π , матимемо, що очікувана максимальна величина змін подач різців, що викликає збільшення шорсткості, регламентується найбільшим піком s_{afmax} зміни подачі від усередненого значення, тобто $\Delta s_H=s_{afmax}$. Отже, для дволезової адаптивної обробки із КМІЗ найбільшу висоту геометричних мікронерівностей можна оцінити виразом $(R_{zmax})_H=(s/8r)(s/4+s_{afmax})$, а для n -лезової обробки доцільно користуватись формулою $(R_{zmax})_n=(s/4rn)(s/2n+2s_{afmax})$.

Наведені залежності переконливо показують значне зменшення геометричних мікронерівностей при багатолезовій адаптивній обробці порівняно з однолезовою.

При виникненні коливань в системі ВПД на поверхні деталей можуть утворюватись хвилі. Особливий вплив на хвилястість обробленої поверхні має форма

нерівностей, що виникли при попередній обробці (так зване явище «спадковості»). При цьому можуть виникнути резонансні вимушені коливання, максимальне значення амплітуди яких можна обчислити за формулою [4]:

$$y_{a\max} = k_y s t_\alpha / (h \sqrt{(c + k_y s) / M}), \quad (1)$$

де t_α - висота хвиль від попередньої обробки; k_y - коефіцієнт різання; h , c , M - приведені коефіцієнти демпфування, жорсткості і маса пружної системи верстата. Умова стійкості процесу при цьому полягає в тому, щоб $y_{a\max} \leq t_\alpha$.

Розглянемо вплив «спадковості» на дволезову адаптивну обробку. Глибини різання на різцях: $t_{p1} = t_0 + t_\alpha \sin \omega \tau - y$ і $t_{p2} = t_0 + t_\alpha \sin[\omega(\tau + T/2)] + y$, де t_0 - номінальне значення глибини різання; ω та y - частота власних коливань і пружна деформація системи; T - період обертання деталі. Скориставшись одномасовою моделлю, отримаємо рівняння радіальних коливань верстата:

$$M \ddot{y} + h \dot{y} + c y = P_{y1} - P_{y2}, \quad (2)$$

де $P_{y1} = k_y t_{p1}(s_y + \Delta s(\tau))$ і $P_{y2} = k_y t_{p2}(s_y + \Delta s(\tau))$. При цьому $\Delta s(\tau)$ - зміна подачі на різцях в часі. Внаслідок вирівнювання зусиль різання механізмом КМІЗ $P_{y1} - P_{y2} \rightarrow 0$, проте в динаміці ця умова внаслідок інерційності процесу різання досягається не точно. Тому для подальшого аналізу розглянемо два граничні випадки: 1) $\sin \omega \tau = \sin[\omega(\tau + T/2)]$ і 2) $\sin \omega \tau = -\sin[\omega(\tau + T/2)]$.

Із врахуванням першого рівняння отримаємо, що $\Delta s \approx (y_s / t_0)(1 - (t_\alpha / t_0) \sin \omega \tau)$, або, зауважуючи інерційність процесу різання, $\Delta s = (y_s / t_0)[1 - (t_\alpha / t_0) \sin(\omega \tau + \psi_s)]$, де $\psi_s = \arctg(\omega_p)$ - фазовий кут запізнення, а T_p - стала часу стружкоутворення. Таким чином, рівняння (2) можна звести до рівняння Мат'є-Хілла:

$$\ddot{y} + 2\varepsilon \dot{y} + \omega_1^2 [1 + 2\mu \Phi(\tau)] y = 0,$$

де $2\varepsilon = h/M$; $\omega_1^2 = [c - 2k_y s_y t_\alpha / t_0 + 2k_y s_y (t_\alpha / t_0)^2] / M$; $2\mu = k_y s_y (t_\alpha / t_0) / (M \omega_1^2)$; $\Phi(\tau) = -[\cos(\omega \tau + (\pi/2) + \psi_s) + (t_\alpha / t_0) \cos 2\omega \tau]$ - періодична функція. Аналіз цього рівняння показує, що параметричне збудження можливе лише при $\omega_1 \rightarrow \omega$, а умова неможливості виникнення параметричного резонансу при цьому: $\mu < \sqrt{2\varepsilon / \omega_1}$, або

$$\frac{\sqrt[4]{M k_y s_y t_\alpha / t_0}}{[c - 2k_y s_y (t_\alpha / t_0) + 2k_y s_y (t_\alpha / t_0)^2]^{3/4}} < 2\sqrt{h} \quad (3)$$

Підставляючи у формулу (3) реальні значення параметрів, можливих при обробці, бачимо, що ця умова виконується практично завжди. Критичні значення можливі при дуже малій жорсткості системи порівняно із жорсткістю процесу різання, але в цьому випадку дуже сильно відрізняються частоти ω та ω_1 . Таким чином, нестійкість системи виключено, а амплітуда вільних коливань є величиною швидко затухаючою.

У другому граничному випадку ($\sin \omega \tau = -\sin \omega(\tau + T/2)$) подачу обчислюємо з умови $P_{y1} - P_{y2} \rightarrow 0$ за формулою $\Delta s = y_s / t_0 - s_y (t_\alpha / t_0) \sin(\omega \tau + \psi_s)$. Тоді рівняння руху системи можна звести до вигляду:

$$\ddot{y} + 2\varepsilon \dot{y} + \omega_2^2 y = (1/M) \sqrt{2F_0} \sqrt{1 - \cos \psi_s} \sin(\omega \tau + \gamma_s),$$

де $\omega_2^2 = c/M$, $F_0 = 2k_y s_y t_\alpha$; $\tg \gamma_s = \sin \psi_s / (1 - \cos \psi_s)$. В результаті його розв'язування знаходимо максимально можливе значення амплітуди коливань, викликане явищем «спадковості»:

$$y_{a\Pi\max} = 2\sqrt{2}\sqrt{1 - \cos\psi_s} k_y s_y t_\alpha / (h\sqrt{c/M}) \quad (4)$$

Порівнюючи цю формулу із залежністю (1) для однолезової обробки, визначаємо коефіцієнт динамічного послаблення хвилястості

$$H_{xв} = y_{a\Pi\max} / y_{a\max} = \sqrt{1 - \cos\psi_s} \sqrt{2c/(c + k_y s)} \quad (5)$$

На рисунку показано максимальні значення хвиль, утворених внаслідок дволезової обробки, і коефіцієнти динамічного послаблення хвилястості для різних $T_p(t_\alpha=100\text{мкм})$

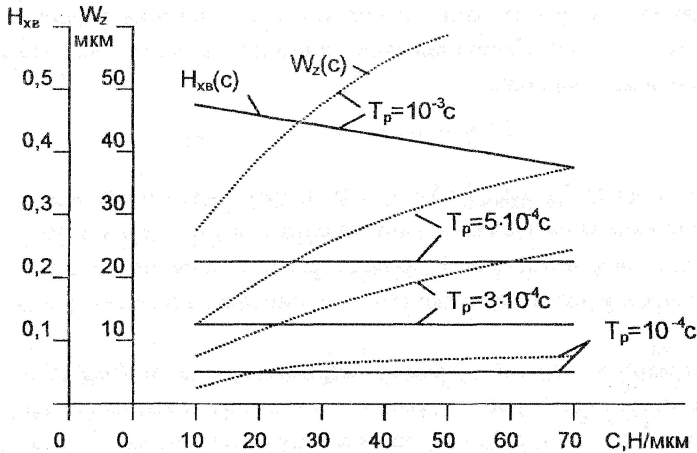


Рисунок - Залежності висоти хвиль W_z і коефіцієнта $H_{xв}$ послаблення хвилястості від жорсткості системи

Аналіз цих графіків і формул (4) та (5) показує значне зниження хвилястості при дволезовій адаптивній обробці порівняно з однорізевою. Найефективнішим є використання оснащення із КМІЗ для технологічних систем меншої жорсткості ($c=10^7 \dots 3 \cdot 10^7$ Н/м). При цьому можливо в залежності від режимів обробки зменшити величину хвилястості, викликаної «спадковістю» поверхні, порівняно з традиційною обробкою в (2...20) разів.

Summary. The geometric characteristics of surface quality, machined by multipludge cutting with intertool kinematic links accessories are given. The formulas for calculating of roughness and waviness are discussed.

Перелік посилань

1. Нагорняк С.Г., Дубиняк С.А., Луцив І.В. Повышение точности обработки длинных валов на токарных станках. - Изв. Вузов: Машиностроение, 1982. - №8. - С.149-151.
2. Нагорняк С.Г., Луцив І.В. Предохранительные механизмы металлообрабатывающего оборудования: Справочник. - К.: Техніка, 1992. - 72 с.
3. Маталли А.А. Технология машиностроения. - Л.: Машиностроение, 1985. - 496 с.
4. Тлусты И. Автоколебания в металлорежущих станках. Пер. с чеш. - М.: Машгиз, 1956. - 395 с.

Стаття представлена професором Кузнецовим Ю.М.